

İSTANBUL'DA BİR SİSMİK BÖLGELEME UYGULAMASI

Atilla ANSAL, Yeşim BİRO, Ayfer ERKEN,
Recep İYİSAN, Ümit GÜLERCE, Nejat ÖZÇİMEN
İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi

GİRİŞ

Son 10 yıl içinde Kocaeli ve Düzce depremlerini de sayarsak ülkemizde beş büyük deprem yaşandı. Her deprem bize bir şeyler öğretmeye çalıştı. Ama hem toplum, hem mühendis ve mimarlar, hem de merkezi ve yerel yöneticiler olarak deprem konusunda çok fazla duyarlı davranmadık. Ve ne yazık ki, Kocaeli depremine kadar deprem konusunda çalışan mühendislerimizin ve bu konuya önem veren politikacılarımızın sayısı hep çok sınırlı kaldı. Fakat ne ilginçtir ki, 17 Ağustos depremi ile birlikte depremle uğraşan inşaat mühendisi ve yer bilimcilerin sayısı neredeyse bir gecede 10 katına çıktı. Depremlere karşı daha fazla hazırlıklı olabilmek için disiplinler arası bir çalışma ve deprem konusunda daha kapsamlı bilgi birikimi gerekli. Böyle bir bilgi birikiminin oluşabilmesi için de uygulamalı araştırma ve meslek sonrası eğitimi önemli. Doğal olarak mimarlar, inşaat, jeofizik ve jeoloji mühendisleri, bu alanda yapılacak çalışmaları ortak ve birlikte sürdürmek zorundalar.

Bir deprem sırasında üst yapıya gelen kuvvetler, sadece ve sadece üst yapı ile ilgili değildir. Üst yapı tasarımı ve yapım süreci çok önemli ve bir binanın yeterli derecede depreme dayanıklı ve sağlam olabilmesinin en önemli koşuludur. Bir deprem sırasında yapılara gelecek deprem kuvvetleri ki, bu konuda bilgilerimizin tam olarak yeterli olmadığı düşünülebilir, iki ana faktörden etkilenir. Bu faktörlerden birincisi deprem özellikleri, ikincisi de yerel zemin koşullarıdır. Niye deprem ve zemin özellikleri ? Çünkü deprem dalgalarının özellikleri zemin tabakaları içinden geçerken değişebilmekte ve zemin yüzeyinde yer alan yapılara gelecek olan deprem kuvvetleri artabilmektedir. Aynı şekilde deprem dalgaları zemin içinden geçerken zemin tabakalarının özellikleri de değişmektedir. Bu nedenlerden ötürü olabilecek depremi göz önüne almadan yapılan herhangi bir yerleşime uygunluk çalışması veya bina bazında temel tasarımı eksik bir değerlendirme olmaktadır.

Sismik bölgeleme nedir? Bu ülkemizde çok iyi bilinen bir konu değil. Bu güne kadar sismik bölgeleme konusundaki çalışmalar sayıca çok az ve bunlar hep akademik araştırmalar olarak yapılmış. Dolayısıyla bu konuyu biraz tartışmak ve bu uygulamadan ne anlaşılmasının daha doğru olacağı konusunda düşündüklerimizi açıklamak istiyoruz. En kaba tanımıyla sismik bölgeleme, bir bölgede olabilecek deprem özellikleri göz önüne alınarak zemin tabakalarının nasıl bir davranış göstereceğinin ve buna bağlı olarak yapıları etkileyecek deprem kuvvetlerinin inceleme bölgesi içinde nasıl bir değişim göstereceğinin belirlenmesi olarak tanımlanabilir.

Türkiye deprem bölgeleri haritası 1/1,800,000 ölçeğinde hazırlanmış bir haritadır. Dolayısıyla bu ölçek ne kadar hassas ise deprem bölgeleri haritası da o derece hassastır.

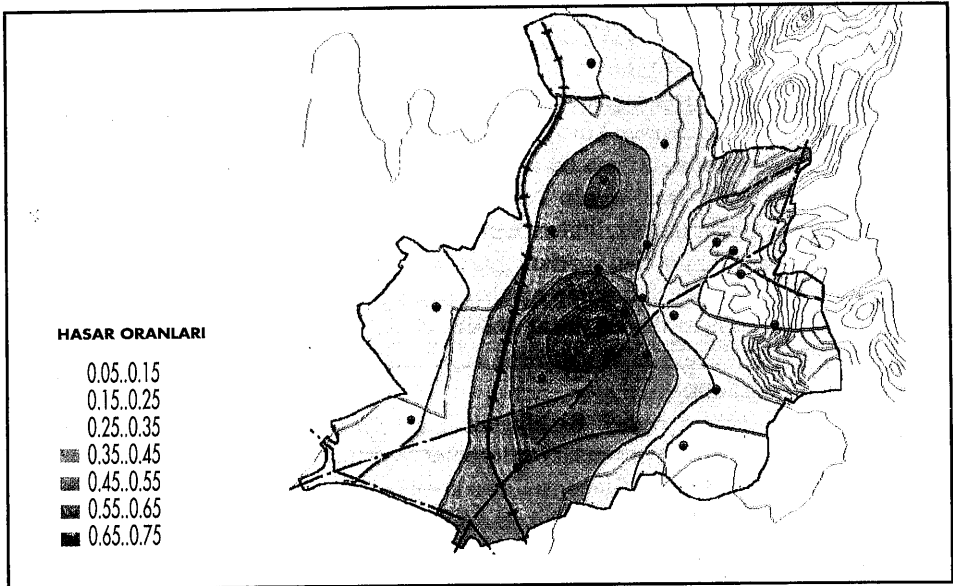
Bir il veya ilçe için sismik bölgeleme yaparken 1/5,000 hatta 1/1,000 ölçeğinde çalışmak gerekir. 1998 yılında yürürlüğe giren *Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik*, çok güncel olmasına rağmen, böyle bir sınırı da beraberinde taşımaktadır. Bu yönetmeliğe göre birinci derece deprem bölgesinde en büyük etkin ivme katsayısı 0.40 olarak verilmektedir. Sismik bölgeleme yapmanın bir amacı da bu 0.40 değerinin yeterli olup olmadığını belirlemektir.

Bu yazıda amaç, yapıları etkileyen deprem kuvvetlerinin yerel zemin koşullarına bağlı olarak nasıl değiştiğini ve özellikle Kocaeli depreminde öne çıkan yerel zemin etkilerinin neden göz önüne alınması gerektiğini açıklamaya çalışmak ve son depremler sonrası farklı bir önem kazanan sismik bölgeleme veya küçük (mikro) bölgeleme çalışmasından ne amaçlandığını bir uygulamaya dayanarak anlatmaktır.

DEPREM HASARLARINDA YEREL KOŞULLARIN ETKİSİ

Bu bölüm içinde sismik bölgelemenin neden deprem hasarlarını azaltmak için uygulanması gerektiğini açıklayabilmek için yakın geçmişte yaşamış olduğumuz 1995 Dinar ve 1999 Kocaeli depremlerinden iki örnek vermek istiyoruz.

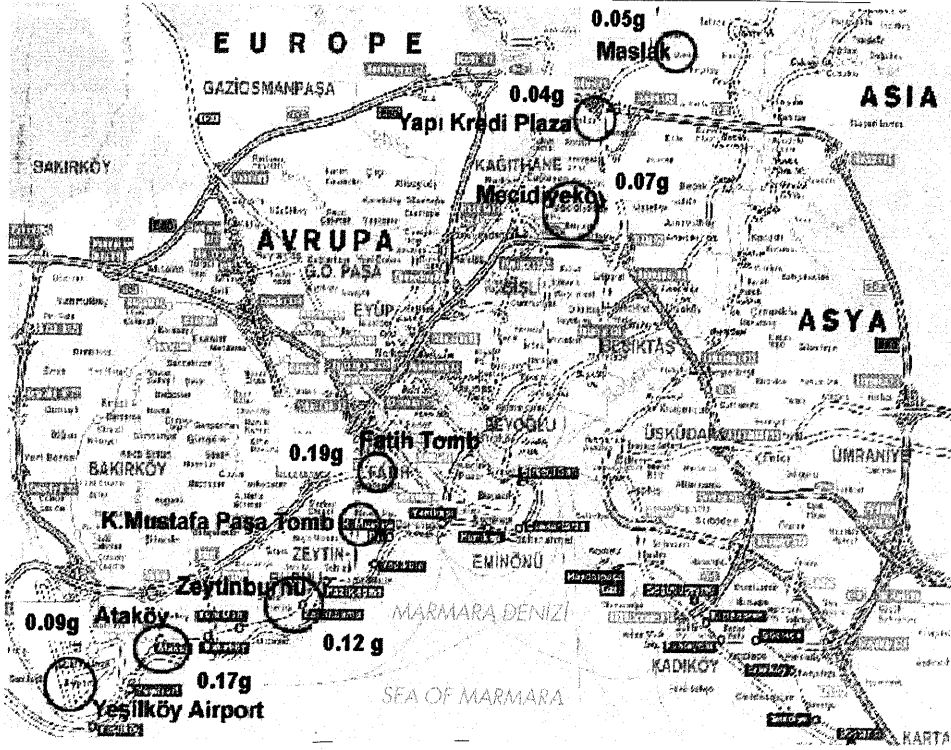
1995 Dinar depremi sonrası Dinar'da Afet İşleri Genel Müdürlüğü'nün yaptığı detaylı hasar tespit çalışmaları sonucunda hasarın bölgelere göre değişimi Şekil 1'de gösterilmiştir. Aslında bu hasar farklılıklarının böyle bariz bir şekilde ortaya çıkmasının nedeni Dinar'daki yapı kalitesinin kötü olmasıdır. Eğer Dinar'da yapılar yeterli sağlamlıkta yapılıysaydı bu farklılığı belki de bu kadar açık olarak görmek mümkün olmayacaktı.



Şekil 1. 1995 Dinar depreminde meydana gelen hasarın ilçe içinde değişimi

Diğer yandan Dinar'da yapı kalitesinin bir noktadan bir noktaya çok farklı olmadığı düşünüldüğünde, Dinar ilçesinde yapısal hasarın bu kadar farklı olmasının ana nedeni kötü yapılmış yapılara gelen deprem kuvvetlerindeki farklılık olmalıdır.

İkinci örnek olarak 17 Ağustos Kocaeli depreminde İstanbul içinde alınan kuvvetli yer hareketi kayıtlarında gözlenen en büyük ivme değerleri verilebilir (Şekil 2). Bu kayıtların hepsi faya yaklaşık olarak eşit uzaklıkta alınmış kayıtlardır. Boğaziçi Üniversitesi, Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırması Enstitüsü ve İstanbul Teknik Üniversitesi'nin kuvvetli yer hareketi sismograflarından elde edilen en büyük ivme değerleri; Maslak'ta 0.05 g, Ataköy'de 0.17 g, ve Ambarlı'da 0.25 g olarak bulunmuştur. İstanbul içinde bulunduğu yere göre yaklaşık 5 misli değişen en büyük ivme değerleri gözlenmiş olması yerel zemin koşullarının önemini açıkça göstermektedir.



Şekil 2. 1999 Kocaeli depreminde İstanbul'da en büyük ivme değerlerinin değişimi

Peki hasara etki eden faktörler nelerdir ? Bunlar genel olarak deprem kaynak özellikleri, yerel zemin koşulları ve yapısal özellikler olarak sayılabilir. Burada yapısal özelliklerin deprem hasarları üzerindeki etkisinin çok önemli olduğunu vurgulamak gerekir. Geoteknik dalında uzmanlaşmış inşaat mühendisleri olarak, yapılarımızı yeterli derecede güvenli yapabilirsek, diğer bir deyişle deprem yönetmeliğine uygun olarak yapabilirsek, hasarın çok aza ineceğini hatta meydana gelen yapısal hasarda zemin ve deprem koşullarının göreceli olarak ikinci derecede önemli kalacağını düşünüyoruz. Kanımızca ülkemizde öncelik yapı kalitesinin iyileştirilmesi ve deprem yönetmeliğinin doğru olarak uygulanması olmalıdır. Bizim temel sorunumuz zemin değildir. Bizim temel sorunumuz deprem özelliklerinin tahmin edilmesi de değildir. Ülkemizde depremlerin nerede ve ne büyüklükte olabileceği konusunda gerçekçi bir tahmin yapabilmek için yeterli bilgi bulunmaktadır.

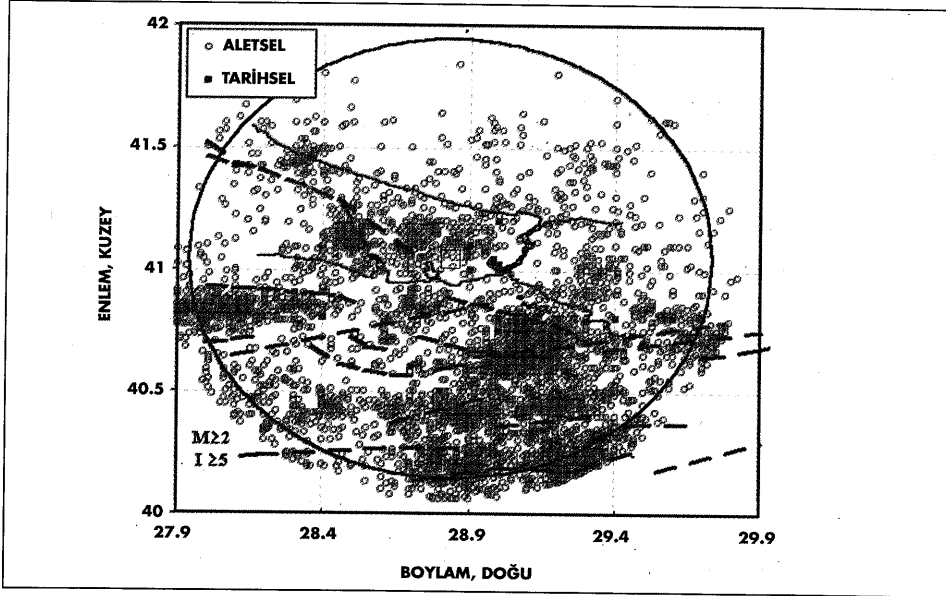
YEREL ZEMİN KOŞULLARI

Ülkemizde zemin koşullarının yeterli bir şekilde incelenmesi konusunda uygulamada bir takım eksiklikler söz konusu. Bu durum belkide bu konuda bir yönetmeliğin bulunmamasından kaynaklanmakta. Geneel olarak zemin etüdü veya diğer bir deyişle geoteknik inceleme yapma alışkanlığımız yok. Hatta 2 Eylül'de çıkarılan kararname ile zemin etüdü veya geoteknik incelemenin ne olduğunu bilmediğimizi ülke olarak kanıtladık. Bu kararnamede zemin etütleri jeoloji mühendisleri tarafından yapılmalı denmekte. Dünyanın hiçbir ülkesinde, bizim ülkemizde dahil, hiçbir jeoloji mühendisliği bölümünde tam donanımlı zemin mekaniği laboratuvarları yoktur. Zemin mekaniği laboratuvarları İnşaat Fakülteleri içindedir. Dünyada yazılan zemin mekaniği kitaplarının büyük bir çoğunluğu inşaat mühendisleri tarafından yazılmıştır. Ama bizler; inşaat mühendisleri olarak bunun farkında olmadığımız için bugüne kadar bu görevleri hep jeoloji mühendislerine verdik. Hata mı ettik? Evet. Belki jeoloji mühendislerinin bilgileri bu tür bir inceleme için bir miktar yeterliydi. Ama son yıllarda açığa çıkan şudur ki, depremler sırasında yapılara gelen deprem kuvvetlerini zemin koşulları değiştirdiği kadar, zemin koşulları da deprem hareketinden etkilenmekte, zemin tabakalarının mukavemet ve mühendislik özellikleri değişebilmektedir. Bu nedenle bu tür incelemelerin geoteknik dalında uzmanlaşmış inşaat mühendislerinin katılımıyla yapılması zorunlu hale getirilmelidir.

Afet Bölgelelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik'te dört yerel zemin sınıfı tanımlanmaktadır. Yerel zemin koşullarının bu şekilde tanımlanması bu alandaki sınıflamalara göre en iyi yöntemlerden biridir. Aslında bu yönetmelikte tanımlanmış olan zemin sınıfları doğru ve uygun deneysel verilere dayanarak belirlenebilse, zeminle ilgili problemlerin önemli ölçüde ortadan kalkacağını düşünebiliriz. Tabi hemen şunu söylemek lazım. Her yapı yapılırken, yapının projesini yapan yapı tasarımında uzmanlaşmış bir inşaat mühendisi vardır. Ama zemin incelemelerine gelindiğinde bu konuda bir araştırma yapmak için yeterli kaynak ayrılmaz ve dolayısıyla her yapı için geoteknik dalında uzmanlaşmış bir mühendis bulunmaz. Halbuki son yıllarda elde olunan aletsel kayıtlar, deprem özelliklerinin bir noktadan bir noktaya çok farklı olabileceğini göstermektedir. Dolayısıyla her yapı için noktasal olarak yapımıza gelecek deprem kuvvetlerini belirlerken, yerel zemin koşullarının etkisini araştırmak, özellikle önemli ve çok katlı yapılar için zorunlu olmalıdır. Sismik bölgeleme çalışmalarının bu açıdan bir miktar yetersiz kaldığı söylenebilir. Sismik bölgeleme uygulamalarında amaç parsel bazında uygulamaya yönelik tasarım parametrelerini belirlemek değildir. Depremsellik incelemelerinde 1/1,800,000'lik bir ölçekten 1/5,000'lik bir ölçeğe geçildiğinde, bu ölçekte yapılan incelemeler parsel bazında bir değerlendirme yapabilecek kadar kapsamlı olamaz. Diğer yandan bu araştırmalar için ayrılan fonlar her zaman sınırlı olduğu için elde olunan sonuçlar da yaklaşık olmak durumundadır.

Bir depremde yapılara gelen deprem kuvvetlerini belirlerken en önemli parametrelere biri, yapıların bulunduğu noktalarda zemin tabakalarının deprem özelliklerini nasıl değiştirdiğinin bulunmasıdır. Yerel zemin özellikleri bazı bölgelerde deprem kuvvetlerinin büyümesine bazı bölgelerde ise azalmasına yol açabilir. Zemin büyütmesi olarak tanımlanan bu olayı açıklamaya çalışırken çok karmaşık olabilen zemin tabakalaşma özelliklerini yansıtabilecek bir basitleştirme yapmak gerekebilir. Yapılan araştırmalar yüzeyden itibaren üst 30 metre içinde kalan zemin ve kaya tabakalarının bu açı-

dan önemli olduğunu göstermektedir. Düşey olarak değişik derinliklere yerleştirilmiş kuvvetli yer hareketi sismograflarından alınan kayıtlar, üst 30 metre içindeki zemin davranış özelliklerini eşdeğer kayma dalgası diye tanımlanan bir parametrenin yansıtılabileceğini göstermektedir. Diğer bir deyişle deneysel olarak bulunan ve zemin yüzeyinden itibaren üst 30 m içindeki zemin ve kaya tabakalarının kayma dalgası hızlarının ağırlıklı ortalaması olarak tarif edilen eşdeğer kayma dalgası hızını kullanarak değişik noktalardaki zemin büyütmesini yaklaşık olarak tahmin etmek mümkün olmaktadır. Dolayısıyla parsel bazında yapılacak incelemelerde bu özellik kullanılarak bir değerlendirme yapılabilir.

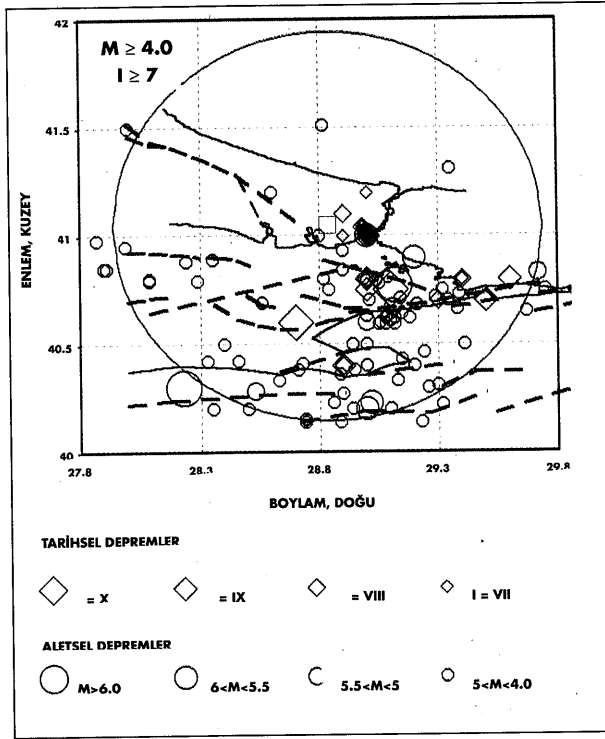


Şekil 3. Bağcılar ilçesi etrafında tarihsel ve aletsel dönemlerdeki sismik etkinlikler

SİSMİK BÖLGELEME İÇİN DEPREMSELLİK

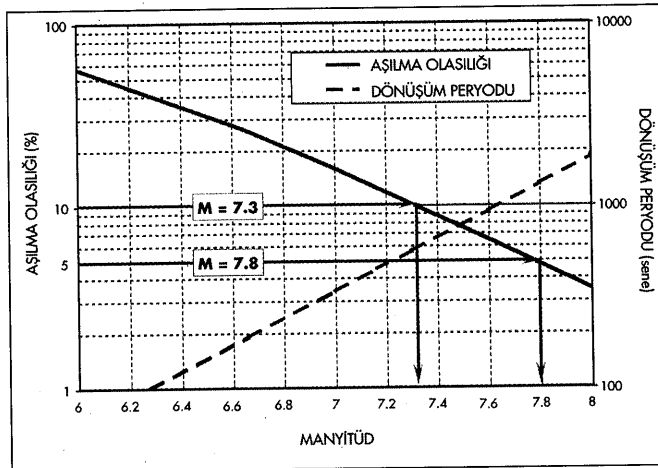
Sismik bölgeleme çalışmaları üç aşamadan oluşur. Bu aşamalar: (1) bölgenin depremelliğinin, (2) bölgenin jeolojik yapısının, (3) bölgedeki geoteknik yerel koşulların belirlenmesi olarak sıralanabilir.

Depremsellik açısından yapılması gereken çalışmalara bir örnek olarak İstanbul'da Bağcılar ilçesinde yapılan sismik bölgeleme çalışmasından örnekler verilebilir. Bağcılar ilçesinin kapladığı alan 22 km² civarında ve yaklaşık olarak Erzincan ili yerleşim alanına eşit bir alandır. Şekil 3'te İstanbul Bağcılar ilçesinin etrafındaki 100 km yarı çapındaki bir bölge içinde geçmişte meydana gelmiş sismik etkinlikler gösterilmiştir. Bağcılar'ın etrafında aletsel (1900-2000) ve tarihsel (33-1900) dönemlerde meydana gelmiş depremler Bağcılar ilçesinin aktif bir sismik bölgede olduğunu göstermektedir. Şekil 4'te ise bu bölgedeki aktif fayların konumu, tarihsel ve aletsel dönemlerde meydana gelmiş orta ve büyük şiddetteki depremlerin dış merkezleri gösterilmiştir.



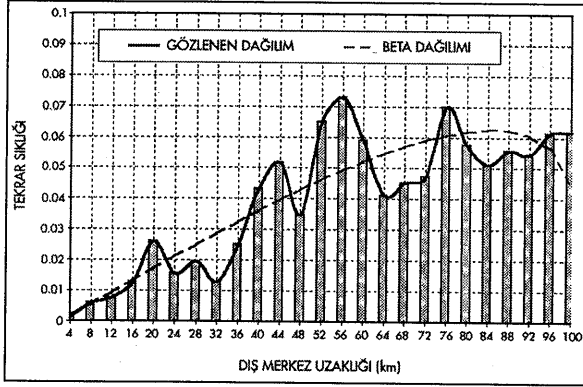
Şekil 4. Bağcılar ilçesi etrafında tarihsel ve aletsel dönemlerde meydana gelmiş orta ve büyük şiddetli depremlerin dış merkezleri ve aktif fayların konumu

Bağcılar için yapılan sismik bölgeleme çalışmalarının ilk aşamasında, sismik tehlikenin ve tasarım deprem özelliklerinin belirlenmesi amacıyla olasılıksal değerlendirme yöntemlerini, bu sismik veri tabanını kullanarak uygularsak, deprem yönetmeliğimizin



Şekil 5. Bağcılar için deprem manyütüdüne göre aşılma olasılığı ve dönüşüm periyodu ilişkisi

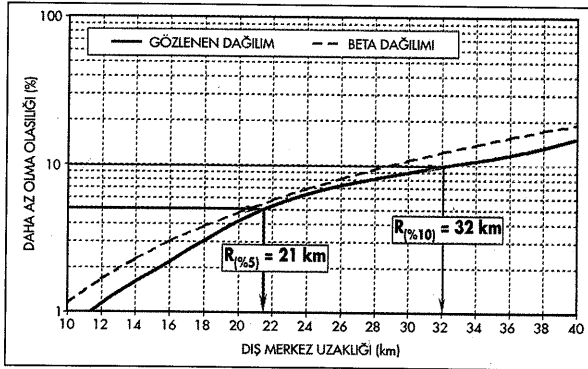
tasarım depreminin belirlenmesinde öngördüğü 50 yıllık yapı ömründe %10 aşılma olasılığına karşı gelen tasarım depremi büyüklüğü, Şekil 5'te gösterilmiş olduğu gibi $M=7.3$ olmaktadır. İstanbul ve yakın civarında bugüne kadar farklı araştırmacılar tarafından yapılmış çalışmalarda da benzer tasarım deprem büyüklüğü önerilmiştir. Diğer yandan Bağcılar ilçesi içinde yapılacak önemli yapılar için daha küçük bir aşılma olasılığı seçmek gerekebilir. Bu durumda %5 aşılma olasılığına karşı gelen deprem manyitüdü ise $M=7.8$ olarak bulunmuştur.



Şekil 6. Bağcılar için olası deprem dış merkez uzaklıklarının istatistiksel dağılımı

Peki bu deprem nerede olabilir? Eğer tasarım deprem büyüklüğünü belirlemek için bir olasılık değeri seçiliyorsa, depremin olacağı yeri belirlerken de aynı olasılık değerinin geçerli olması doğru olur (Ansal ve Siyahi, 1995). Bir mühendis olarak maliyet analizleri yapabilmek için tehlike mertebesinin hep aynı kalması tercih edilir. Bu durumda geçmişte olmuş bütün depremlerin dış merkezlerinin ileride olacak depremlerin dış merkezleri olabileceği kabul edilirse (Ambraseys, Simpson & Bommer, 1996; Kafka & Walcott, 1998), istatistiksel bir değerlendirme yapılabilir. Şekil 6'da Bağcılar ilçesi civarında aletsel dönemde meydana gelmiş ve manyitüdü $M=2$ 'den büyük depremlerin dış merkezlerinin Bağcılar'a olan uzaklıklarının istatistiksel dağılımı gösterilmiştir.

Bu istatistik dağılımı model etmek ve olasılıklar hesaplanmak istendiğinde, bir seçenek matematiksel olarak tanımlanmış istatistiksel dağılım fonksiyonlarını kullan-



Şekil 7. Bağcılar için deprem dış merkez uzaklığının daha az olma olasılığına göre değişimi

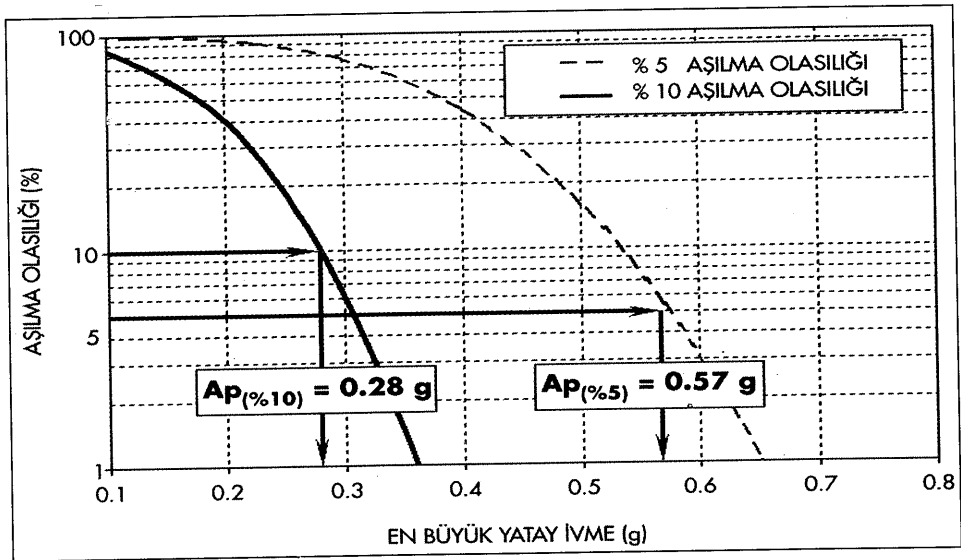
maktır. Bu bağlamda Beta istatistiksel dağılım fonksiyonunun, gözlenmiş olan dış merkez uzaklığı istatistiksel dağılımını en iyi şekilde model eden dağılım fonksiyonu olduğu bulunmuştur. İkinci bir seçenek ise gözlenmiş olan dağılımı, bir tekil istatistiksel dağılım olarak tanımlamak ve olasılıkları bu tekil dağılıma göre hesaplamaktır. Şekil 7’de gösterilmiş olduğu gibi her iki yöntemle bulunan olasılıklar benzer değerler almaktadır.

Bu yaklaşıma göre Bağcılar ilçesini %10 aşılma olasılığı ile etkileyecek $M=7.3$ büyüklüğünde bir depremin dış merkez uzaklığının, ama bu sefer daha az olma olasılığı %10 olarak seçildiğinde, Şekil 7’de gösterildiği gibi tasarım depremi dış merkez uzaklığı 32 km olmaktadır. Yine bu aşamada önemli yapılar için bir değerlendirme yapılırsa, %5 daha az olma olasılığına karşı gelen dış merkez uzaklığının 21 km olarak seçilmesi doğru olacaktır.

Sismik bölgeleme için seçilen tasarım depremi büyüklüğü ve bu depremin sismik bölgelemenin yapılacağı ilçeye uzaklığı belirlendikten sonra yapılması gereken, bölgesel jeolojik ve tektonik koşullarla uyumlu bir azalım ilişkisi kullanarak sismik bölgeleme yapılan ilçede ana kaya seviyesindeki en büyük deprem ivmesi değerini hesaplamaktır. Bu çalışma kapsamında Ambraseys (1995) tarafından Avrupa’da olmuş bütün depremler kullanılarak geliştirilmiş azalım ilişkisinin sadece Türkiye’de olmuş depremler göz önüne alınarak Ansal (1998) tarafından yeniden hesaplanmış olan,

$$\text{Log } A_p = 0.33M - 0.00327R - 0.79 \log R + 1.17 \quad (1)$$

şekli kullanılmıştır. Bu ilişkide A_p en büyük yatay ivmeyi, M tasarım deprem manyitüdünü, R ise $R = \sqrt{(R_{epc})^2 + h^2}$ bağıntısıyla verilen iç merkez uzaklığını göstermektedir. Burada R_{epc} dış merkez uzaklığını, h ise iç merkez derinliğidir. Bu bağıntı hesaplanırken yapılan analizde standart sapma 0.42 olarak bulunmuştur. Bu standart sapma değeri her azalım ilişkisinde olduğu gibi gözlenen en büyük ivme değerlerinin iç



Şekil 8. Bağcılar'da ana kaya seviyesinde en büyük tasarım deprem ivmesinin aşılma olasılığına göre değişimi

merkez uzaklığına göre değişiminde bir saçılım olduğunu göstermektedir. Bu nedenle bu aşamada da bir istatistiksel değerlendirme yapılması ve ana kaya seviyesinde en büyük yatay ivme değeri hesaplanırken aşılma olasılığına göre bir ivme değeri belirlenmesi gerekmektedir. Böyle bir değerlendirme yapıldığında, Şekil 8'de gösterilmiş olduğu gibi Bağcılar ilçesinde anakaya seviyesinde %10 aşılma olasılığına karşı gelen en büyük ivme değeri 0.28 g olarak bulunmuştur. Aynı şekilde %5 aşılma olasılığına karşı gelen ve önemli yapılar için kullanılması önerilen ana kaya seviyesindeki en büyük yatay ivme değeri ise 0.57 g olmaktadır.

Bir sismik bölgeleme ve yapı sistemi denetimi yapılacaksa anakaya seviyesindeki ivmenin gerçekçi ve güvenilir bir şekilde mevcut sismik aktiviteye göre belirlenmesi gerekir. Fayın bugün kırılması veya yarın kırılması, 5 km geride veya 10 km ilerde olması inşaat mühendisleri olarak bizi çok fazla ilgilendirmemelidir. Eğer tasarım depremi özellikleri yukarda açıklandığı gibi istatistiksel olarak hesaplanıyor ise (*Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkına Yönetmelik*'te de benzer bir yaklaşım uygulanmıştır) o takdirde inşaat mühendisleri olarak yapılarımızı bu deprem özelliklerine göre tasarlamamız ve inşa etmemiz gerekmektedir.

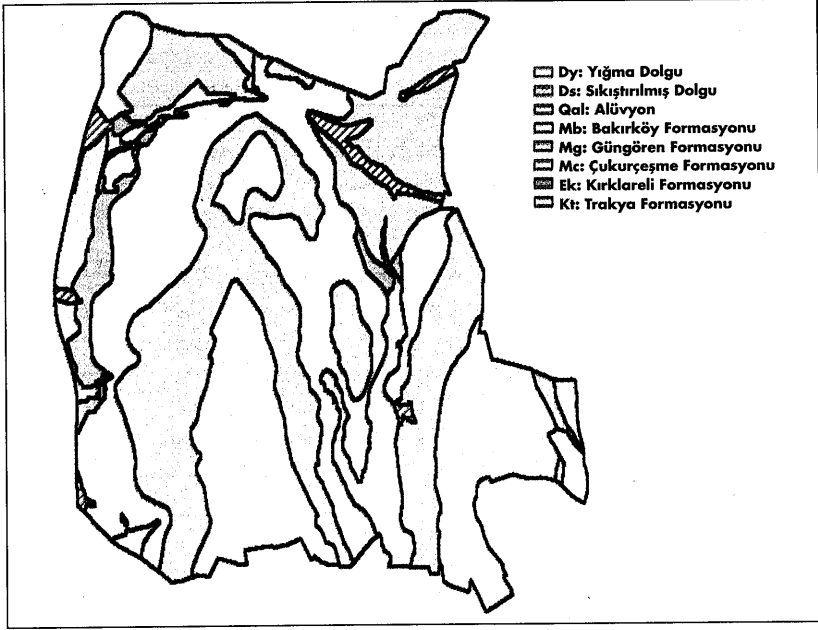
Tabi bu arada bu tespitlerden sonra olayın jeolojik yanı küçümsenmemeli ama jeolojik bir incelemede amacın olayın jeolojik yönlerinin belirlenmesi olduğu unutulmamalıdır. Diğer bir deyişle jeolojik özellikleri değerlendirmek ve bu değerlendirmeyi yaparken jeofizik yöntemlerden de yararlanmak tercih edilmelidir. Bölgedeki hakim jeolojik yapı, farklı katmanların özellikleri ve kalınlıkları belirlenmelidir. Bu veriler deprem dalgalarının zemin yüzeyine ulaşırken nasıl değiştiklerinin tahmin edilmesinde ve zemin büyütme analizleri yapılırken ana kaya olarak tanımlanacak seviyenin doğru bir şekilde seçilebilmesi için gerekli bilgilerdir.

Genel olarak anakaya seviyesinin tanımı, kayma dalgası hızının 700 m/sn veya daha büyük olduğu derinlik olarak yapılmaktadır. Böyle bir seviye belirlendikten sonra, bir zemin büyütme analizi yardımıyla, bu derinlikte olası deprem ivme kayıtlarını kullanarak zemin yüzeyinde oluşacak deprem özelliklerini hesaplamak mümkün olabilir.

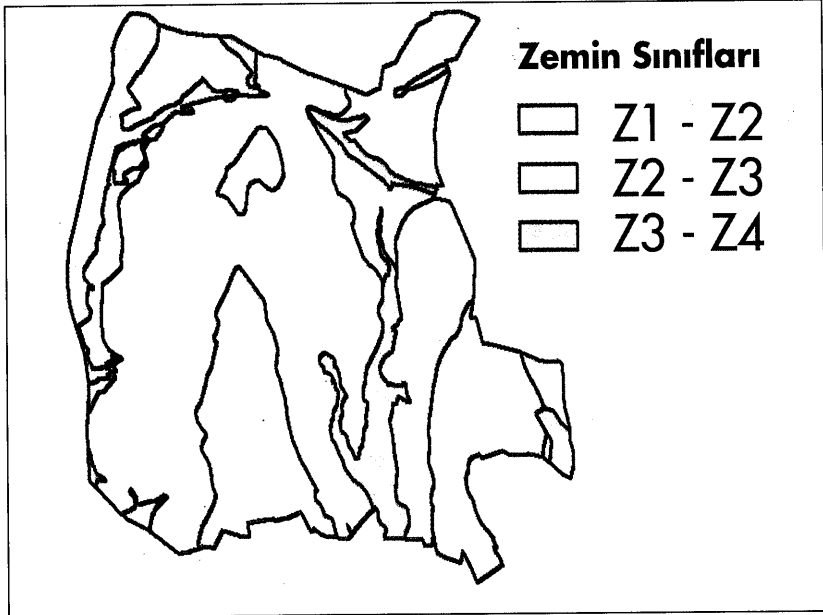
JEOLJİ VE YEREL ZEMİN KOŞULLARI

Sismik bölgeleme çalışmalarında ikinci aşama jeolojik yapının detaylı bir şekilde belirlenmesidir. İnceleme alanı içinde karşılaşılan jeolojik birimlerin, arazi ve sondaj çalışmalarından elde olunan bulgulara dayanarak 1/1,000 ölçeğinde haritalanması tercih edilmektedir. Bağcılar ilçesi için yapılmış böyle bir çalışmadan elde olunan sonuçlar toplu halde Şekil 9'da gösterilmiştir. Bu jeolojik harita Bağcılar ilçesindeki jeolojik yapıyı ve buna bağlı olarak yerel zemin koşullarındaki farklılaşmayı açıkça göstermektedir. Burada unutulmaması gereken, bu çalışma sonucunda gözlenen jeolojik birimlerin aslında çok homojen olmadıkları ve aynı jeolojik birim içinde bile bir noktadan bir noktaya zemin tabaka özelliklerinin değişebileceğidir. Bu nedenle sadece jeolojik birimler esas alınarak bir bölgeleme yapılması çok güvenli bir çözüm olmamaktadır.

Jeolojik ve geoteknik özellikleri belirlemek için sondaj çalışmaları yapılmalı, zemin tabakalarının özellikleri laboratuvar ve arazi deneylerine dayanarak belirlenmelidir. Geçmiş incelemeler ve depremlerdeki gözlemler deprem özelliklerini, zemin yüzeyinde, zemin tabakaları özelliklerine bağlı olarak değişebileceğini göstermiştir. Kocaeli depreminde Adapazarı'nda ve Gölcük'te görülen hasar dağılımı da bunu açıkça göster-



Şekil 9. Bağcılar ilçesinde gözlenen farklı jeolojik birimler



Şekil 10. Bağcılar ilçesinde Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik uyarınca tanımlanan yerel zemin sınıflarına göre yapılan bölgeleme

mektedir. Büyük depremlerde anakaya seviyesinde ivme değerlerinin büyük olması zeminlere gelen tekrarlı kayma gerilmelerinin büyük olmasına ve özellikle yumuşak ve gevşek zemin tabakalarında elastoplastik davranışlara yol açar. Bu da zemin yüzeyinde oluşan ivme değerlerinde bir azalmaya neden olabilir. Dolayısıyla yumuşak ve gevşek zemin tabakaları her zaman deprem hareketini büyütüyor demek doğru değildir. Bu aslında bu konuda yeterli bilgi ve deneyimi olmayanlarca yapılan yanlış bir yorum. Yumuşak ve gevşek zemin tabakaları uzak depremlerde deprem hareketini büyütebilir. Ama bu da deprem kaynak özelliklerine bağlıdır. Dolayısıyla yumuşak zeminler kötü zemin, sert zeminler iyi zemin yaklaşımı her zaman doğru değildir.

Bir yapının hasar görebilirliği için zemin ve deprem özellikleri ne kadar önemliyse yapısal özellikler de o derece önemlidir. İnşaat mühendisleri olarak zemin tabakaları, temeller ve üst yapıdan oluşan bir sistemin deprem sırasında davranışı incelenmelidir. Eğer Bakırköy'de bir yapı, Levent'te bir yapı sırf bulundukları konum itibarıyla hasar göreceklerse, bu yapı özelliklerinden bağımsız düşünülmemelidir. Dolayısıyla sert zemin iyi zemin, yumuşak zemin kötü zemin tanımlamasından vazgeçilerek yapı ve temel sistemi ile zemin koşulları arasındaki uyum önemsenmelidir.

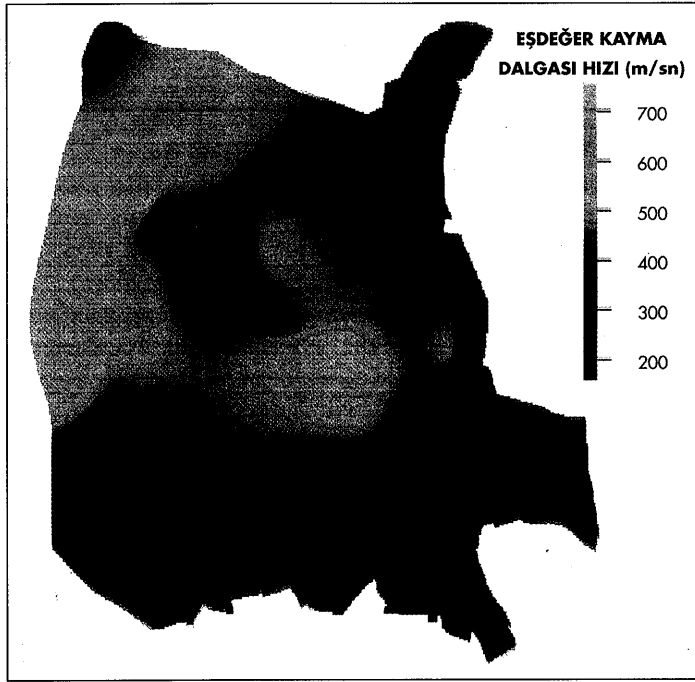
Zemin özellikleri konusunda yukarıda belirtilen davranış farklılıkları nedeniyle, bir yapının güvenli bir şekilde tasarlanabilmesi için yerel zemin ve tasarım deprem özellikleri göz önüne alınarak temel tasarımı yapılmalıdır. Örneğin Bağcılar için tasarım depremi olarak $M=7.3$ alındığında bölgede büyük ivmeler oluşabileceğini kabul edersek, yerel zemin özelliklerin gerçekçi bir şekilde belirlenmesinin önemi açıkça ortaya çıkar.

Bağcılar'da yapılan sondaj çalışmaları ve diğer jeolojik incelemelere dayanarak ilçede "Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik" uyarınca yerel zemin sınıflarının dağılımı Şekil 10'da gösterilmiştir. Yapılan çalışmalar Bağcılar ilçesinde yerleşim alanlarında, eldeki sondaj verilerinin sınırlı olması ve yerel zemin sınıfları arasındaki geçişlerin kesin bir şekilde belirlenememesi nedeniyle, genel olarak ikili bir tanımlanmanın daha doğru olacağını göstermiştir. Buna göre yapılan değerlendirmede yerel zemin sınıflarına göre üç bölge (Z1-Z2), (Z2-Z3) ve (Z3-Z4) şeklinde bir bölgeleme yapılmıştır. Sınırlı sondaj verilerine dayanarak, zemin sınıfları cinsinden yapılan bu bölgelemenin yaklaşık olduğu ve parsel bazında yapılacak zemin incelemeleri ile yerel zemin sınıflarının daha doğru bir şekilde belirlenmesi gerektiği açıktır.

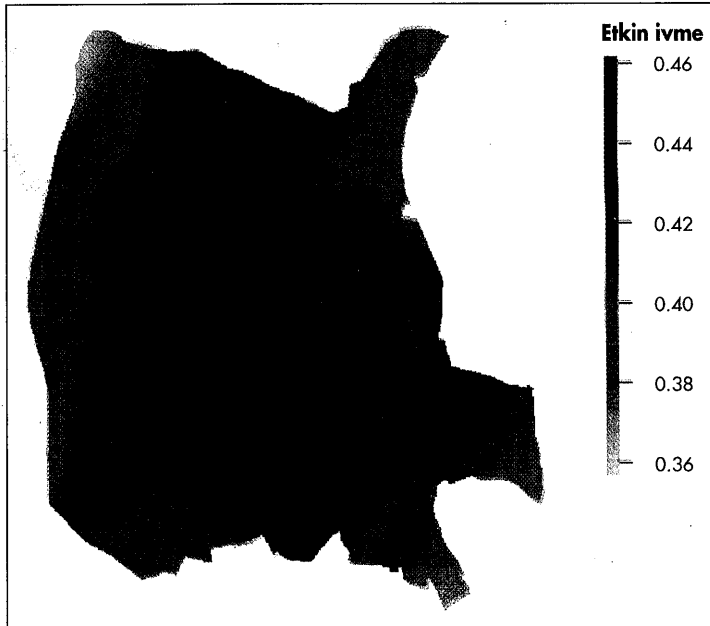
Böyle bir çalışma ile yerel zemin koşullarına göre yapılan bir sınıflandırma sonucunda "Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik" uyarınca yapı tasarımı için gereken tasarım spektrumu bulunabilir. Ama bu yönetmelikte spektral büyütme açısından yerel zemin koşullarına göre bir farklılık yoktur. Diğer yandan son depremlerde elde edilen aletsel kayıtlar, yerel zemin koşullarına göre spektral büyütmenin farklı olabileceğini göstermiştir. Bu bulgular göz önüne alınarak bazı ülkelerin deprem yönetmeliklerinde bu türden değişiklikler öngörülmektedir. Bu nedenlerden ötürü Bağcılar için yapılan çalışmada da bu durum göz önüne alınarak bir değerlendirme yapılmıştır.

ZEMİN YÜZEYİNDE DEPREM ÖZELLİKLERİ

Zemin tabakalarının bir deprem sırasında yapısal tasarım açısından deprem özelliklerini nasıl değiştireceklerini incelerken uygulanan yöntemlerden biri de eşdeğer kayma dalga-



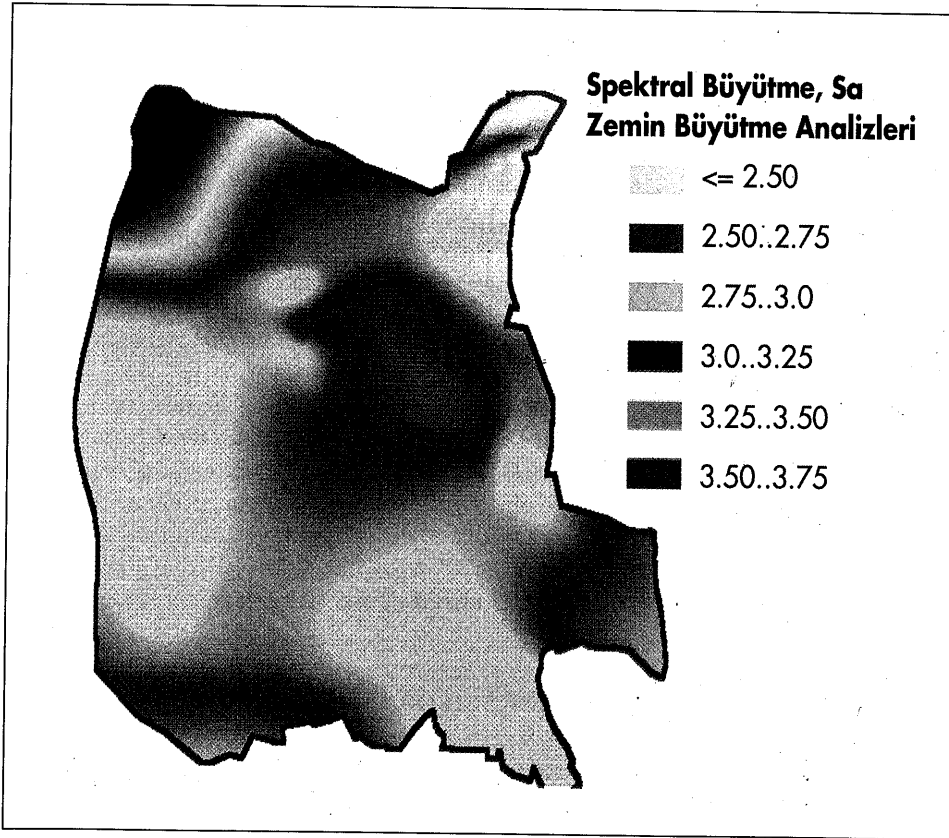
Şekil 11. Bağcılar ilçesinde sismik deneylerden ölçülen ve standart penetrasyon deneylerinden hesaplanan eşdeğer kayma dalgası hızlarının değişimi



Şekil 12. Bağcılar ilçesinde etkin ivme değerinin değişimi

sı hızları kullanılarak yapılan değerlendirmedir. Eşdeğer kayma dalgası hızı, zemin yüzünden itibaren üst 30 metre içinde kalan zemin ve kaya tabakalarının kayma dalgası hızlarının ağırlıklı ortalaması olarak tanımlanır. Bu şekilde hesaplanan eşdeğer kayma dalgası hızının, yerel zemin etkilerini ve depremler sırasındaki zemin davranışlarını en iyi yansıtan parametre olduğu düşünülmektedir. Son yıllarda özellikle ABD deprem yönetmeliklerinde bu parametre esas alınarak zemin yüzeyinde yapı tasarımı için gereken tasarım parametrelerinin belirlenmesi yoluna gidilmiştir.

Eşdeğer kayma dalgası hızı, arazide yapılan sismik deneylere dayanarak veya sondaj kuyularında yapılan standart penetrasyon darbe sayılarından literatürde önerilen bağıntılar kullanılarak hesaplanabilir (İyisan, 1998). Bağcılar ilçesi için yapılan çalışmada her iki şekilde de eşdeğer kayma dalgası hızları bulunmuştur. İnceleme bölgesinde 40 noktada sismik kırılma deneyleri ile kayma dalgası hızları ölçülmüş, hem de açılan 40 sondaj kuyusunda yapılan standart penetrasyon darbe sayıları kullanılarak kayma dalgası hızları hesaplanmıştır. Her iki şekilde bulunan eşdeğer kayma dalgası hızları kullanılarak, Bağcılar ilçesi içinde eşdeğer kayma dalgası hızının değişimi Şekil 11’de gösterilmiş olduğu gibi belirlenmiştir.



Şekil 13. Bağcılar ilçesinde alınan zemin büyütme analizlerinden hesaplanan spektral büyütme katsayısının değişimi

Buradan da görüldüğü gibi inceleme bölgesi içinde eşdeğer kayma dalgası hızı genel olarak 200 m/sn ile 700 m/sn arasında kalmaktadır. Bu değerler yerel zemin koşullarının oldukça değişken olduğunu göstermektedir. Diğer yandan elde edilen eşdeğer kayma dalgası hızının inceleme bölgesi içindeki değişimi de yaklaşık olmak zorundadır.

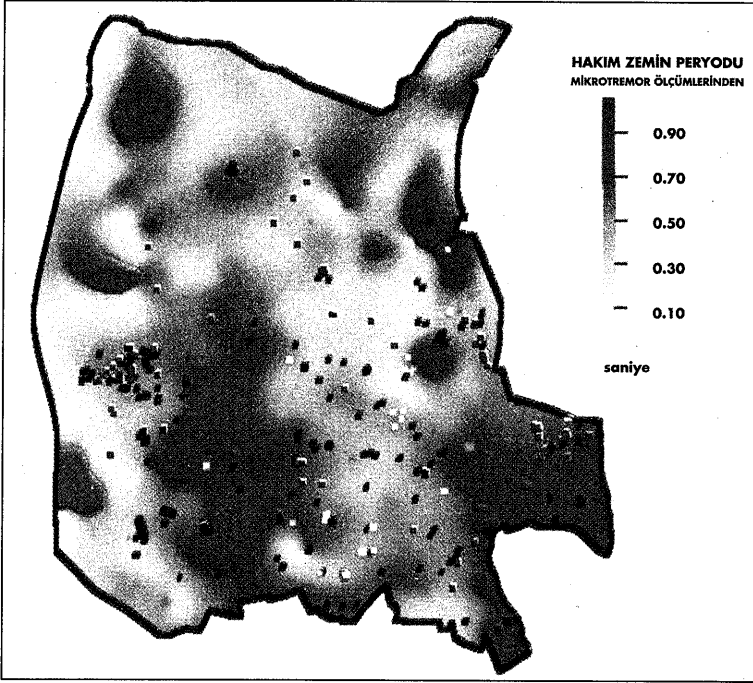
Bu aşamada eşdeğer kayma dalgası hızlarından zemin büyütmesini, buradan da zemin yüzeyindeki en büyük yatay ivme değerinin değişimini hesaplamak mümkün olmaktadır. Diğer yandan sondaj çalışmaları sonucunda belirlenen zemin profilleri ve zemin tabaka özellikleri kullanılarak yapılan zemin büyütme analizlerinden de zemin yüzeyinde seçilen tasarım depreminde oluşabilecek en büyük ivme değerleri hesaplanabilir. Burada uygulamaya yönelik bir yaklaşım izleyerek en büyük yatay deprem ivmesi yerine, "*Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik*" ile yapı tasarımı için önerilen etkin ivme değeri cinsinden bir bölgeleme yapmak daha doğru olacaktır. Bu nedenle etkin ivme değerinin en büyük yatay ivme değerinin %70'i olarak alınabileceğini varsayarak bir bölgeleme yapılmış ve Şekil 12'de gösterilen değişim elde edilmiştir. Buradan da görüleceği, gibi Bağcılar ilçesinin birinci derecede deprem bölgesi içinde kaldığını kabul edersek deprem yönetmeliğinde öngörülmüş 0.40 etkin ivme değerinden büyük değerlerle karşılaşmıştır.

Deprem yönetliğimiz bu açıdan yeterli olmakla birlikte, mevcut zemin koşulları ve sismik tehlike analizi sonucunda belirlenen tasarım depremi özellikleri dikkate alınarak yapılan hesaplardan etkin ivme değeri için daha büyük değerler de bulunabilir. Bunun bir nedeni deprem yönetmeliğinin 1/1,800,000 ölçeğinde hazırlanmış Türkiye Deprem Bölgeleri Haritasını esas almak zorunda olmasıdır. Bu tür makro ölçekli bir deprem bölgeleri haritalama çalışmasında tasarım deprem özellikleri ancak yaklaşık olarak tanımlanabildiğinden ve ayrıca yerel zemin özellikleri göz önüne alınamadığından, arada böyle farklılıklar olması kaçınılmaz olmaktadır. Bu açıdan deprem yönetmeliğinde öngörülen etkin ivme değeri bir alt sınır olarak alınmalı ve sismik bölgeleme çalışmaları ile etkin ivme değerlerinin daha büyük ölçekte hesaplanmasının daha güvenli sonuçlar vereceği düşünülmelidir.

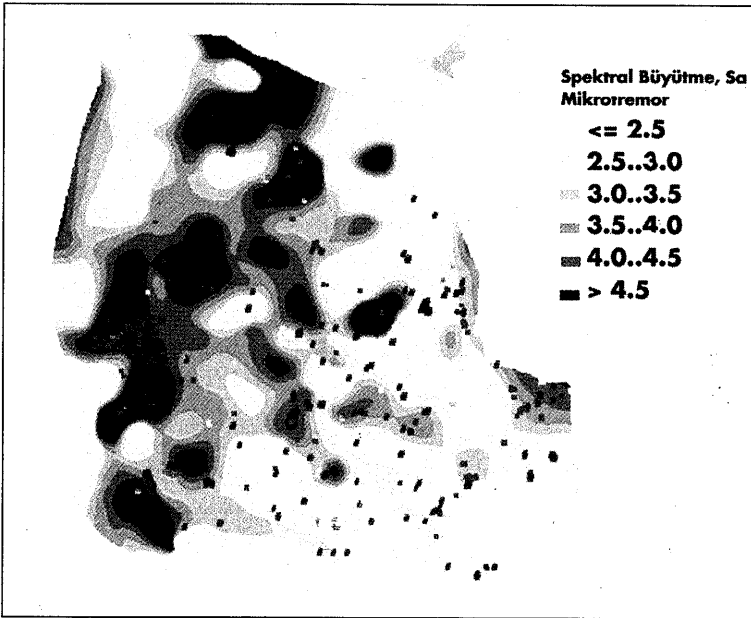
Diğer yandan yapılmış olan zemin büyütme analizlerinden yapı tasarımı için gerekli olan spektral büyütme değerleri de hesaplanabilmektedir. Bu tür bir değerlendirme yapıldığında Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik'te öngörülen $S=2.5$ değerinden büyük değerler elde olunabilir. Şekil 13'te zemin büyütme analizlerinden hesaplanan spektral büyütmelerden elde olunan değişim gösterilmiştir. Buradan da görüldüğü gibi elde olunan değişimde $S=2.5$ değeri büyük bir bölge için geçerli olmakla birlikte spektral büyütmenin $S=3.75$ mertebelerine çıktığı kısımlarda bulunmaktadır.

ZEMİN BÜYÜTMESİ VE ZEMİN HAKİM PERİYODU

Sismik bölgeleme amacıyla son yıllarda çok yaygın bir şekilde kullanılmaya başlanan yöntemlerden biri de çok hassas sismograflar yardımıyla zemin yüzeyinde alınan küçük titreşim diğer bir adıyla mikrotremor kayıtlarının kullanılmasıdır. Bu yöntemle elde edilen çok küçük titreşim kayıtları yardımıyla zemin tabakalarının elastik davranış özelliklerini belirleyebilmek mümkün olmaktadır. Bütün dünyada çok yaygın bir şekilde kul-



Şekil 14. Bağcılar ilçesinde alınan küçük titreşim kayıtlarından hesaplanan zemin hakim periyodunun değişimi



Şekil 15. Bağcılar ilçesinde alınan küçük titreşim kayıtlarından hesaplanan spektral büyütme katsayısının değişimi

lanılan bu popüler yöntemin bir özelliği de çok kısa bir süre içinde sonuç vermesi. Alınan küçük titreşim kayıtları kullanılarak yaklaşık olarak hem zemin büyütmesi, hem de tasarım spektrumu için zemin hakim periyodu veya deprem yönetmeliğinde tanımlanan uç periyotlardan bir tanesi (T_b) hesaplanabilmektedir.

Bu çalışma kapsamında yaklaşık 500 metre arayla alınan mikrotremor (çok küçük titreşim) kayıtlarından hesaplanan hakim periyodun Bağcılar ilçesi içindeki değişimi Şekil 14'de gösterilmiştir. Hakim zemin periyodunun diğer bir deyişle tasarım spektrumu uç periyodunun (T_b) inceleme bölgesi içinde gösterdiği değişim oldukça büyük sınırlar içinde kalmaktadır. Dolayısıyla noktasal olarak (eğer bu sonuçların güvenilir olduğunu varsayarsak) bu değişim eşdeğer eğriler ile gösterildiğinde zemin hakim periyodunun genellikle 0.1 saniye ile 0.9 saniye arasında kaldığı gözlenmektedir. Diğer yandan "Afet bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik" uyarınca yerel zemin sınıfı Z2 olarak sınıflanmış bölgelerde bu değer 0.40 saniye, Z3 olarak sınıflandırılmış bölgelerde 0.60 saniye olarak önerilmektedir. Ama bu çalışmada bulunan deneysel sonuçlar zemin hakim periyodunun aynı zemin grubunda bile farklı olabileceğini göstermektedir.

Şekil 14'te 17 Ağustos Kocaeli depreminde Bağcılar ilçesinde hasarlı binaların dağılımı da gösterilmiştir. Hasarlı binaların büyük bir çoğunluğunun 4 – 6 katlı binalar olduğu hatırlanacak olursa bu binaların büyük bir çoğunluğunda zemin hakim periyotları ile bina hakim periyotlarının çakışması nedeniyle hasarın arttığı düşünülebilir. Burada da unutulmaması gereken aslında hasarın yapısal tasarım ve inşaat aşamalarında yapılan hatalardan kaynaklanmış olduğudur. Çünkü aynı bölgelerde hasar görmeyen çok sayıda benzer yapı bulunmaktadır. Zemin hakim periyodu ile yapı hakim periyodunun çakışması binayı etkileyen deprem kuvvetlerinin artmasına yol açar. Bu da yapı tasarımında veya inşaat aşamasında yapılmış hataların önem kazanmasına ve binada hasar meydana gelmesine neden olur.

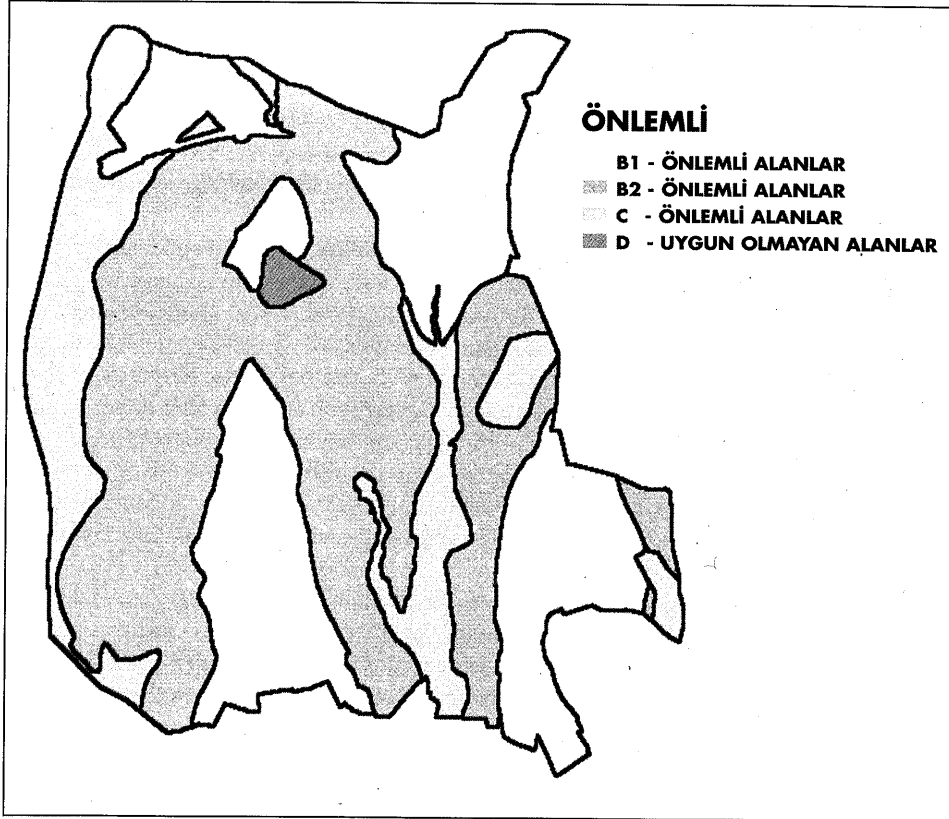
Depreme dayanıklı yapı tasarımında zemin hakim periyodu kadar önemli bir diğer parametre de spektral büyütmedir. Spektral büyütme bir deprem sırasında yapıma gelecek deprem kuvvetlerini belirlemek için kullandığımız bir parametredir. Deprem yönetmeliğimizde bu değer zemin koşullarından bağımsız, $S=2.5$ olarak verilmiştir. Bağcılar ilçesi içinde spektral büyütmenin değişimine baktığımızda (Şekil 15) ve yine küçük titreşim kayıtlarından bulunan bu değer in yaklaşık olarak doğru olduğunu varsayarsak, spektral büyütmenin $S=4.5$ değerine kadar çıkabildiği görülmektedir. Bu sonuçlar, özellikle de önemli yapıların tasarımında, spektral büyütmenin noktasal olarak parsel bazında belirlenmesinin çok önemli olduğunu göstermektedir. Bir açıdan Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik'te öngörülen yapı önem katsayısı da bu spektral büyütmenin etkisini göz önüne almak için belirlenmiş bir parametre olarak düşünülebilir.

Şekil 15'te de aynen Şekil 14'te olduğu gibi hasarlı yapıların dağılımı gösterilmiştir. Buradan da hasarlı yapıların spektral büyütmenin fazla olduğu bölgelerde yoğunlaştığı gözlenmektedir. Spektral büyütmenin artması yapılara gelecek deprem kuvvetlerinin artması anlamına geldiği için, yine yukarıda belirtilmiş olduğu gibi bu durum yapısal zayıflıkların önem kazanmasına yol açmış olabileceğini düşündürmektedir.

SİSMİK BÖLGELEME

Yukarıda kısaca özetlendiği gibi sismik bölgeleme çalışmalarında, inceleme alanı içinde başta jeolojik birimler, zemin koşulları, eşdeğer kayma dalgası hızı, etkin ivme, spektral büyütme ve zemin hakim periyodu olmak üzere birden fazla parametrenin etkin olduğu ve farklı değişimler gösterdiği görülmektedir. Bu durumda sismik bölgeleme çalışmalarının sonuçlandırılması için bu parametreler arasından bir seçim yapmak gerekir.

Bu seçimin anlamlı olabilmesi için belki de başa dönüp, "sismik bölgelemede ki amaç nedir?" sorusuna yanıt aranmalıdır. Kanımızca sismik bölgelemenin amacı, olabilecek depremlere karşı daha hazırlıklı olmak ve deprem hasarlarını en aza indirmek için yapılacak çalışmalara bir temel oluşturmaktır. Bu açıdan bir deprem sırasında yapılara gelecek deprem kuvvetlerinin inceleme alanı içinde nasıl bir değişim göstereceğini belirlemek sismik bölgelemenin başlıca hedefi olmalıdır. Küçük bölgeleme veya sismik bölgeleme, imar planları ve yerleşime uygunluk açısından önemli bilgiler içerir. Ama sismik bölgeleme parsel bazında bir değerlendirme olmadığı için yapı önemine bağlı olarak inşaat aşamasından önce yerel zemin koşullarının etkilerini belirleyecek çalışmalar yapılmalıdır.



Şekil 16. Bağcılar ilçesinde yerleşim uygunluk haritası

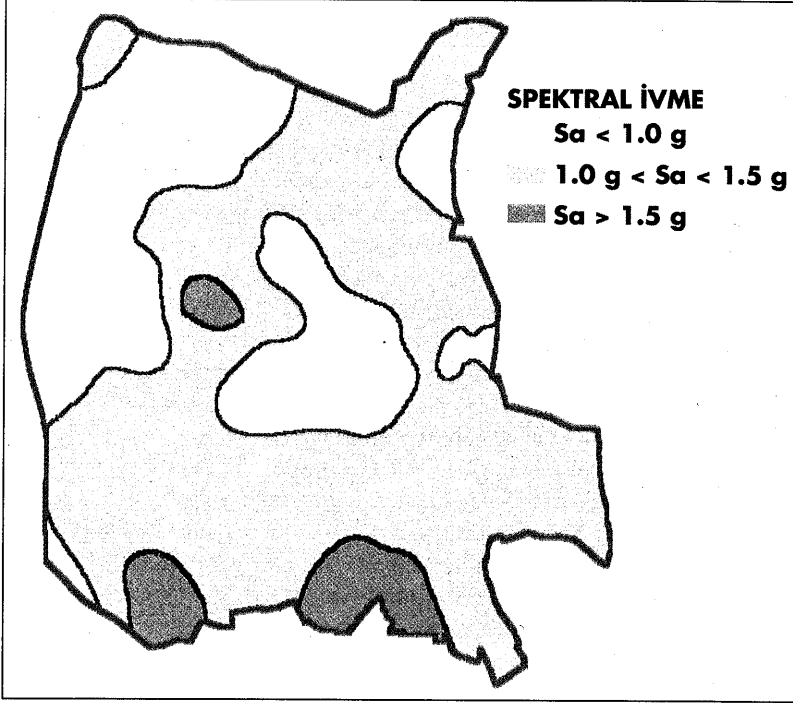
Ülkemizde bu alanda bugüne kadar ve halen depremlerde yapısal hasarı en aza indirmek açısından çok yeterli olmayan bir yaklaşım izlenmektedir. Bunun başlıca nedeni yapılan çalışmalarda olayın sadece jeolojik yanının ele alınması ve bu verilere dayanarak bir yerleşime uygunluk haritasının elde edilmesidir. Bu yaklaşım bundan yirmi-otuz yıl önceki bilgi düzeyimize göre uygun olabilir ama artık bilim ilerlemiş ve sadece jeolojik verilere dayanarak yapılan bir bölgelemenin imar planlarına esas teşkil etmek için yeterli olmadığını bizlere göstermiştir. Bu nedenle bu uygulamaları denetleyici üst kurumlar olan Afet İşleri Genel Müdürlüğü ve İller Bankası yaklaşımlarını değiştirmeli ve imar planlarına yönelik çalışmalarda yerleşime uygunluk çalışmaları yerine sismik bölgeleme çalışmalarını zorunlu kılmalıdır.

Bu açıdan Bağcılar ilçesi için yapılan çalışmalardan örnek vererek bu duruma açıklık getirilebilir. Şekil 16'da inceleme bölgesinde yapılan jeolojik ve zemin çalışmalarından yararlanarak elde olunan yerleşime uygunluk haritası gösterilmiştir.

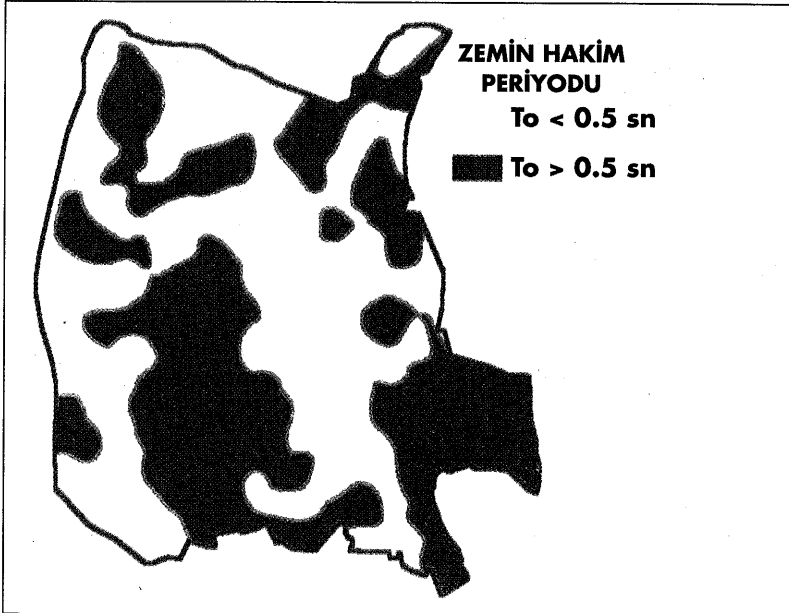
Buradan da görüleceği gibi yapılan bu tür bir bölgeleme, deprem etkilerinin kent planlaması ve imar planları çalışmalarında göz önüne alınabilmesi için gereken bilgileri içermemektedir. Önlemleri alanlar olarak sınıflandırılan alanlarda ne gibi önlemler alınmalıdır? Bu konuda verilen raporlarda, daha çok bölgede yapılan gözlemlere ve çalışmalardan elde olunmuş sınırlı bilgilere dayanarak bina inşaatına yönelik bazı açıklamalar yapılmakta ve kat yükseklikleri sınırlanmaktadır. Ama bu açıklamaların sınırlı ve daha çok gözlemsel verilere dayalı olması, zemin yüzeyinde oluşabilecek deprem kuvvetlerinin değişimine yönelik bir bilgi içermemesine yol açmaktadır. Bu nedenle de bu çalışmalardan elde olunan sonuçlar imar planlarında deprem etkisinin göz önüne alınabilmesi için yeterli olmamaktadır. Halbuki daha önce Şekil 11'den Şekil 15'e kadar gösterilmiş olduğu gibi yapılara gelecek deprem kuvvetleri açısından bazı parametrelerin değişimlerini belirlemek mümkündür. Bunlar ise sismik bölgeleme yaklaşımının daha güvenilir olacağını göstermektedir.

Jeolojik birimler bazında yapılan yerleşime uygunluk tanımı bu nedenlerden ötürü artık terk edilmelidir. Daha önceki yıllarda İller Bankası'na benimsemiş jeolojik raporlarda, sadece jeolojik özellikler ve Türkiye Deprem Haritası göz önüne alınarak, yapılacak yapılarla ilgili kat adetleri belirtilmiştir. Bu raporlarda bu öneriyi destekleyecek veya çürütecek bir bilgi bulunmamaktadır. İnşaat mühendisleri olarak biliyoruz ki eğer gerekli önlemler alınırsa ve bir deprem sırasında yapılara gelecek kuvvetler doğru bir şekilde belirlenirse her zemin koşulunda her türlü bina yapılabilir. Buradaki belirleyici öğe yapı maliyetlerinin artmasıdır. Kent planlaması aslında politik ve ekonomik öğelere dayanması gereken bir karar sürecini içermektedir. Ulaşım, alt yapı, nüfus yoğunluğu, bölgenin ekonomik yapısı gibi faktörler öncelikli olarak göz önüne alınarak bir kent planı oluşturulmalıdır.

Sismik bölgeleme çalışmalarından yeterli inceleme yapılamadığı için noktasal olarak bulunan parametreler çok kesin olmayıp, yapı tasarımı için gerçekleri tam olarak yansıtmayabilir. Dolayısıyla binaların daha güvenli olabilmesi için parsel bazında inceleme yapılması gerekir. Tabi burada da yapıların önemi açısından bir sınıflandırma yapılabilir ve örneğin bir iki katlı konut tipi binalar için sismik bölgeleme sonucunda bulunan tasarım parametreleri yeterli görülebilir. Ama bu tür yapıların dışında kalan yapılar için parsel bazında inceleme yapılması arazi ve laboratuvar deney sonuçlarına dayanan bir değerlendirme aranması doğru olacaktır.



Şekil 17. Spektral ivme değerlerine göre bölgeleme



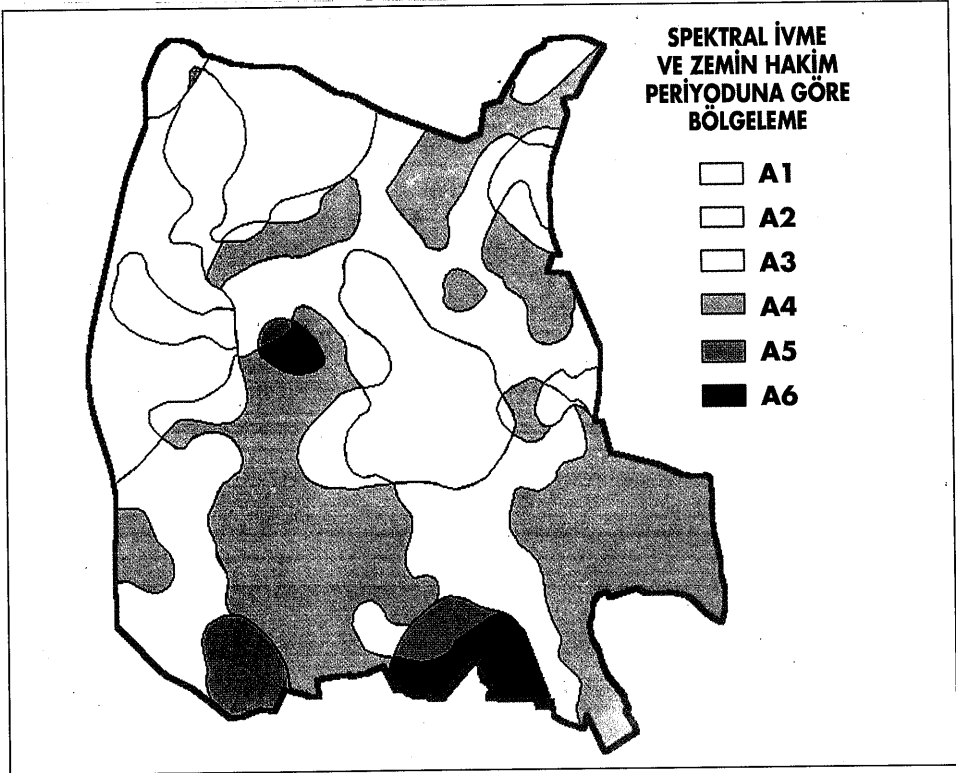
Şekil 18. Zemin Hakim Periyoduna göre bölgeleme

DEPREMSELLİĞE GÖRE SINIFLANDIRMA

Sismik bölgelemede ana amacın yapısal hasarı en aza indirmek olması nedeniyle, mikrobölgeleme uygulamaları açısından zemin yüzeyinde yapı tasarımına yönelik olarak deprem özelliklerinin nasıl bir değişim gösterdiğinin belirlenmesi ve buna göre bir bölgeleme yapılması bu çalışmaların son aşamasını oluşturmaktadır. Burada amaç yapı tasarımına esas teşkil eden parametreleri birlikte değerlendirmek ve bu çerçevede yapı tasarımına göre bir mikrobölgeleme oluşturmaktır.

Yapı tasarımında deprem kuvvetlerine karşı üç ana parametreden söz edilebilir. 1998 Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik'te bu parametreler; etkin ivme, spektral büyütme ve köşe periyotları olarak tanımlanmaktadır. Yapılara gelecek yatay kuvvetlerin hesabında etkin ivme ile spektral büyütmenin çarpımı olarak tanımlanabilecek spektral ivme değerleri kullanılır. Bu nedenle mikrobölgeleme kriterlerinden birinin spektral ivme olması yeterli olacaktır.

Spektral ivmenin hesabında ilk aşamada sondajlar ve arazide yapılan sismik kırılma deneylerinden bulunan eşdeğer kayma dalgası hızı değerlerinden, Midorikawa (1987) tarafından önerilen bağıntı yardımı ile zemin büyütmesi (A_k) değerleri bulunmuş ve bu değerler kullanılarak hesaplanan en büyük ivme değerlerinin %75'ine karşı gelen etkin ivme değerleri elde edilmiştir. Bu etkin ivme değerleri ile sondajlarda yapılmış olan sayısal büyütme analizlerinden elde edilmiş spektral büyütme, mevcut deprem



Şekil 19. Depremselliğe göre sınıflandırma haritası.

yönetmelikleri çerçevesinde değerlendirilerek spektral ivme değerleri hesaplanmış ve bu değerlerin Bağcılar Belediyesi sınırları içindeki değişimi Şekil 17’de gösterilmiştir.

Deprem kuvvetlerine göre yapı tasarımında diğer bir parametre ise zemin hakim periyodudur. Zemin hakim periyodunun Bağcılar içinde değişimi ise mikrotremor ölçümlerinden bulunan hakim periyodu değişimi olarak alınabilir. Bu şekilde hesaplanan zemin hakim periyotlarının Bağcılar ilçesi içindeki değişimi ise Şekil 18’de gösterilmiştir.

Bu durumda spektral ivme ve zemin hakim periyodu değişimlerinin birlikte değerlendirilmesi ile yapılan bölgelemede Şekil 19’da gösterilmiş olduğu gibi 6 farklı alan ortaya çıkmaktadır. Bu alanlarda yapılacak yapılarda aranması gereken koşullar sırasıyla aşağıda özetlenmiştir.

A1 Bölgeleri içinde kalan yapılarda tasarım spektral ivme değerinin 1 g’ye eşit veya küçük, zemin hakim periyodunun da 0.5 saniyeden küçük değerlerde olacağı kabul edilebilir. Bu veriler çerçevesinde bu bölgelerde yaklaşık olarak 5 kata kadar olan yapıların deprem kuvvetlerinden daha fazla etkilenenекleri söylenebilir.

A2 Bölgeleri içinde kalan yapılarda tasarım spektral ivme değerinin 1 g’e eşit veya küçük, zemin hakim periyodunun da 0.5 saniyeden büyük değerlerde olacağı kabul edilebilir. Bu veriler çerçevesinde bu bölgelerde yaklaşık olarak 6 ve daha fazla katlı yapıların deprem kuvvetlerinden daha fazla etkilenenекleri söylenebilir.

A1 ve A2 bölgelerinde bulunan deprem tasarım parametrelerinin *Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik* çerçevesinde önerilen değerlere eşit veya küçük olması nedeniyle bu bölgeler yapılaşmaya uygun alanlardır.

A3 Bölgeleri içinde kalan yapılarda tasarım spektral ivme değerinin 1 g ile 1.5 g arasında, zemin hakim periyodunun da 0.5 saniyeden küçük değerlerde olacağı kabul edilebilir. Bu veriler çerçevesinde bu bölgelerde yaklaşık olarak 5 kata kadar olan yapıların deprem kuvvetlerinden daha fazla etkilenenекleri söylenebilir. Parsel bazında gerekli araştırmalar yapılmak koşuluyla ve *Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik* çerçevesinde belirtilen kurallara uygun olarak bu bölgelerde her tür bina yapılabilir. Yapılara gelecek spektral ivme değerlerinin Yönetmelikte öngörülen değerlerden büyük olarak bulunmuş olması nedeniyle bu bölgelerde yapılacak yapıların hem projeleri hem de inşaatları Yönetmeliğe uygun olmalıdır.

A4 Bölgeleri içinde kalan yapılarda tasarım spektral ivme değerinin 1 g ile 1.5 g arasında zemin hakim periyodunun da 0.5 saniyeden büyük değerlerde olacağı kabul edilebilir. Bu veriler çerçevesinde bu bölgelerde yaklaşık olarak 6 ve daha fazla katlı olan yapıların deprem kuvvetlerinden daha fazla etkilenenекleri söylenebilir. Yapılara gelecek spektral ivme değerlerinin Yönetmelikte öngörülen değerlerden büyük olarak bulunmuş olmaları nedeniyle bu bölgelerde yapılacak yapıların hem projeleri hem de inşaatları Yönetmeliğe uygun olmalıdır. Bu bölgelerde yapılacak 6 veya daha fazla katlı önemli yapılar için sondajlara dayanan zemin araştırmaları yapılarak zemin hakim periyodu T_b ve spektral ivme değerleri belirlenmelidir.

A5 Bölgeleri içinde kalan yapılarda tasarım spektral ivme değeri 1.5 g'e eşit veya daha büyük zemin hakim periyodunun da 0.5 saniyeden küçük değerlerde olacağı kabul edilebilir. Bu veriler çerçevesinde bu bölgelerde yaklaşık olarak 5 kata kadar olan yapıların deprem kuvvetlerinden daha fazla etkilenecekleri söylenebilir. Yapılara gelecek spektral ivme değerlerinin Yönetmelikte öngörülen değerlerden çok daha büyük olarak bulunmuş olması nedeniyle bu bölgelerde yapılacak yapıların hem projeleri hem de inşaatları Yönetmeliğe uygun olmalıdır. Bu bölgelerde yapılacak önemli yapılar için sondajlara dayanan zemin araştırmaları yapılarak zemin hakim periyodu T_B ve spektral ivme değerleri belirlenmelidir.

A6 Bölgeleri içinde kalan yapılarda tasarım spektral ivme değeri 1.5 g'e eşit veya daha büyük zemin hakim periyodunun da 0.5 saniyeden büyük değerlerde olacağı kabul edilebilir. Bu veriler çerçevesinde bu bölgelerde 6 ve daha fazla katlı yapıların deprem kuvvetlerinden daha fazla etkilenecekleri söylenebilir. Bu nedenle bu bölgeler 6 ve daha fazla katlı yapılaşmaya uygun olmayan alanlardır. Yapılara gelecek spektral ivme değerlerinin Yönetmelikte öngörülen değerlerden çok daha büyük olarak bulunmuş olması nedeniyle bu bölgelerde yapılacak yapıların hem projeleri hem de inşaatları Yönetmeliğe uygun olmalıdır. Bu bölgelerde yapılacak 6 veya daha fazla katlı yapılarda sondajlara dayanan zemin araştırmaları yapılarak zemin hakim periyodu T_B ve spektral ivme değerleri belirlenmelidir.

SONUÇ VE ÖNERİLER

Bir deprem sırasında yapılara gelecek deprem kuvvetleri iki ana faktörden etkilenir. Bu faktörlerden birincisi deprem özellikleri, ikincisi de yerel zemin koşullarıdır. Deprem dalgaları zemin tabakaları içinden geçerken özellikleri değişebilmekte ve zemin yüzeyinde yer alan yapılara gelecek olan deprem kuvvetleri artabilmektedir. Aynı şekilde deprem dalgaları zemin içinden geçerken zemin tabakalarının özellikleri de değişebilmektedir. Bu nedenlerden ötürü olabilecek depremi göz önüne almadan yapılan herhangi bir yerleşime uygunluk çalışması veya bina bazında temel tasarımı eksik kalan bir değerlendirme olacaktır.

Türkiye deprem bölgeleri haritası 1/1,800,000 ölçeğinde hazırlanmış bir haritadır. Dolayısıyla bu ölçek ne kadar hassas ise deprem bölgeleri haritası da o derece hassastır. Bir il veya ilçe için sismik bölgeleme yaparken 1/5,000 hatta 1/1,000 ölçeğinde çalışmak gerekir. Bu nedenle bu tür çalışmalarda deprem tehlikesi ve tasarım deprem özellikleri yeniden belirlenmelidir.

Sismik bölgeleme çalışmalarında, inceleme alanı içinde başta jeolojik birimler, zemin koşulları, olmak üzere eşdeğer kayma dalgası hızı, etkin ivme, spektral büyütme ve zemin hakim periyodu gibi birden fazla parametrenin etkin olduğu ve farklı değişimler gösterdiği görülür. Bir sismik bölgeleme çalışmasının amacı, olabilecek depremlere karşı daha hazırlıklı olmak ve deprem hasarlarını en aza indirmek için yapılacak çalışmalara bir temel oluşturmaktır. Bu açıdan bir deprem sırasında yapılara gelecek deprem kuvvetlerinin inceleme alanı içinde nasıl bir değişim göstereceğini belirlemek sismik bölgelemenin başlıca hedefidir. Küçük bölgeleme veya sismik bölgeleme, imar planla-

rı ve yerleşime uygunluk açısından önemli bilgiler içerir. Ama sismik bölgeleme parsel bazında bir değerlendirme olmadığı için inşaat aşamasından önce yapı önemine bağlı olarak yerel zemin koşullarının etkilerini belirleyecek çalışmalar da yapılmalıdır.

Ülkemizde halen izlenmekte olan yaklaşım, bölgeleme çalışmalarında ağırlıklı olarak jeolojik yapılaşmaya dayanan bir yerleşime uygunluk haritasının elde edilmesi şeklindedir. Son yıllarda elde edilen aletsel kayıtlar ve depremlerde gözlenen hasar dağılımları sadece jeolojik verilere dayanarak yapılan bir bölgelemenin bu açıdan yeterli olmadığını göstermiştir. Bu nedenle bu uygulamaları denetleyici üst kurumlar olan Afet İşleri Genel Müdürlüğü ve İller Bankası yaklaşımlarını değiştirmeli ve imar planlarına yönelik çalışmalarda yerleşime uygunluk yaklaşımı yerine sismik bölgelemeyi zorunlu kılmalıdır.

Sismik bölgelemede ana amacın yapısal hasarı en aza indirmek olması nedeniyle, mikrobölgeleme uygulamaları açısından yapı tasarımına yönelik olarak zemin yüzeyinde deprem özelliklerinin nasıl bir değişim gösterdiği belirlenmeli ve buna göre bir bölgeleme yapılmalıdır. Burada amaç yapı tasarımına esas teşkil eden parametreleri birlikte değerlendirmek ve bu çerçevede yapı tasarımına göre bir mikrobölgeleme oluşturmaktır.

Deprem kuvvetlerine karşı yapı tasarımında iki parametreden söz edilebilir. Bunlar spektral ivme ve zemin hakim periyodudur. Bu nedenle mikrobölgeleme kriterleri olarak spektral ivme ve zemin hakim periyodunun seçilmesi tercih edilmelidir.

TEŞEKKÜR

Yazarlar bu çalışmanın farklı aşamalarına katılan, Sayın Prof.Dr. Haluk Eyidoğan, Doç.Dr. İlyas Çağlar, İnş.Yük.Müh. Tufan Durgunoğlu, Jeo.Yük.Müh. Arif Cemal Seçkin, Jeo.Yük.Müh. Abdullah Çalışır, Jeof.Müh. İlyas Ekşioğlu, Jeo.Müh. Leyla Uzunkaya'ya bu çalışmanın başarısı için gösterdikleri çabaları ve verdikleri destek için teşekkür ederler. Onların ve onlarla birlikte çalışanların katkıları olmadan böyle bir çalışmayı gerçekleştirmek mümkün olamazdı.

Yazarlar ayrıca ve özel olarak bu çalışmayı öngören ve gerçekleşmesi için mali kaynak sağlayan Bağcılar Belediye Başkanı Sayın Feyzullah Kıyıklı'ya böyle bir imkanı yarattığı ve bu çalışmanın yapılmasını desteklediği için teşekkür ederler.

YARARLANILAN KAYNAKLAR

- Alsan,E., Tezuçan,L. & Bath,M.[1975] *An Earthquake Catalogue for Turkey for the Interval 1913-1970*, Kandilli Observatory, Istanbul, Turkey and Seismological Institute, Uppsala, Sweden.
- Ambraseys,N.N., Simpson,K.A. and Bommer,J.J. [1996] "Prediction of horizontal response spectra in Europe" *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, (25):371-400.
- Ambraseys,N.N.[1995] "The prediction of earthquake peak acceleration in Europe" *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, (24):467-490.

- Ambraseys, N.N. & Finkel, C.F. [1995] *The Seismicity of Turkey and Adjacent Areas*, Muhittin Seren Publ. Istanbul, 240sf.
- Ansal, A.M. [1999] "Strong Motions and Site Amplification", Theme Lecture, *Second International Conference on Earthquake Geotechnical Engineering*, Lisbon, Portugal, Balkema, Rotterdam, (3):879-894.
- Ansal, A.M. [1998] "Zeminlerin Tekrarlı Gerilmeler Altında Davranışları ve Depremlerde Yerel Zemin Koşullarının Etkisi" Hamdi Peynircioğlu Konuşması, *Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği Yedinci Ulusal Kongresi*, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Ansal, A.M. [1998] "Seismic Hazard and Earthquake Characteristics for İstanbul", Key-note Lecture, *Seismic Safety of Big Cities, İstanbul*, Balkema, Rotterdam.
- Ansal, A.M. & İyisan, R. [1998] "Uniform Risk in Site Specific Seismic Hazard Analysis", *XI Danube European Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering*, Porec, Croatia, Balkema, Rotterdam, 317-324.
- Ansal, A.M., H.Eyidoğan ve A.Barka [1997] İstanbul Metropolünde Güvenli ve Ekonomik Yapı Tasarımı ve İnşaatı için Deprem Tehlikesinin, Deprem Kuvvetlerinin ve Özelliklerinin Belirlenmesi, *Tübitak-Dpt Araştırma Projesi Raporu*.
- Ansal, A.M., İyisan, R. & Ozkan, M. [1997] "A Preliminary Microzonation Study for the Town of Dinar" *Seismic Behaviour of Ground and Geotechnical Structures*, Balkema, Rotterdam, 3-9.
- Ansal, A.M., Yıldırım, H. & Erken, A. [1995] "Cyclic Stress Strain Pore Pressure Behaviour of Soils", *Proc. of Int. Symposium on 70 Years of Soil Mechanics*, İstanbul, (2): 43-71.
- Ansal, A.M. & Siyahi, B.G. [1995] "Effects of coupling between source and site characteristics during earthquakes", *European Seismic Design Practice*, Balkema, Rotterdam, 83-89.
- Ansal, A.M. & Lav, A.M. [1995] "Geotechnical Factors in 1992 Erzincan Earthquake" *Proc. 5th International Conference on Seismic Zonation*, Nice, France, (1):667-674.
- Ansal, A.M. [1994] "Effects of Geotechnical Factors and Behaviour of Soil Layers During Earthquakes, State of the Art Lecture", *Proc. of 10th European Conf. on Earthquake Engineering*, Wien, Austria, (1):467-476.
- Ansal, M.A. & Lav, A. [1991]. Effect of Variability of Input Characteristics on Ground Response Spectra, *4th International Conference on Seismic Zonation*, Stanford, Cal., (4):131-138.
- Ansal, A.M. [1991] "İstanbul'da Deprem", İnşaat Mühendisleri Odası İstanbul Şubesi, *İstanbul ve Deprem Sempozyumu*. İstanbul, sf.7-27.
- Ansal, A.M. & Erken, A. [1989] "Undrained Behaviour of a Clay Under Cyclic Shear Stresses", *ASCE Journal of Geotechnical Engineering Division*, Vol.115, No.7, pp.968-983.
- Barka, A.A. [1998] "Neotectonics of the Marmara Region" *Symposium*, pp.55-87.
- Barka, A.A. [1992] "The North Anatolian Fault Zone", *Annales Tectonica*. (VI):164-195.

- Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, [1998] *Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik*, Ankara.
- Borcherdt, R.D. [1994] "Estimates of Site Dependent Response Spectra for Design (Methodology and Justification)", *Earthquake Spectra*, (10)4:617-654.
- Borcherdt, R.D., Wentworth, C.M., Janssen, A., Fumal, T. & Gibbs, J. [1991] "Methodology for Predictive GIS Mapping of Special Study Zones for Strong Ground Shaking in the San Francisco Bay Region", *4th Inter. Conf. On Seismic Zonation*, (3):545-552.
- Borcherdt, R.D. & Gibbs, J.F. [1976] "Effect of Local Geological Conditions in the San Francisco Bay Region on Ground Motions and the Intensities of the 1906 Earthquake", *Bull. Seism. Soc. Am.*, (66):467-500.
- BUKOERI, [2000] Türkiye için sismik veriler, <ftp://boun.edu.tr/kandilli/pub/> Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü.
- Campbell, K. W. [1997] "Empirical Near Source Attenuation Relationships for Horizontal and Vertical Components of Peak Ground Acceleration, Peak Ground Velocity, and Pseudo Acceleration Response Spectra", *Seis. Res. Letters*, Vol. 68, No. 2, pp. 154-179.
- Crouse, C.B. & McGuire, J.W. [1996] "Site Response Studies for Purposes of Revising NEHRP Seismic Provisions", *Earthquake Spectra*, (12)3:407-440.
- DAD, [1999] 17 Ağustos Depremi İvme Kayıtları, <http://angora.deprem.gov.tr/>, Afet İşleri Genel Müdürlüğü Deprem Araştırma Dairesi.
- Ergin, K., Güçlü, U. ve Aksay, G. [1971] *Türkiye ve Dolaylarının Deprem Katalogu 1965-1970*, İ.T.Ü. Maden Fakültesi, Arz Fiziği Enstitüsü Yayını, No.28.
- Ergin, K., Güçlü, U., & Uz, Z. [1967] *Türkiye ve Civarının Deprem Katalogu M.S.11 yılından 1964 sonuna kadar*, İ.T.Ü. Maden Fakültesi Arz Fiziği Enstitüsü Yayını, No.24
- Field, E.H., Hough, S.E., Jacob, K.H. [1990] "Using Microtremors to Assess Potential Earthquake Site Response: A Case Study in Flushing Meadows, New York City", *Bull. Seism. Soc. Am.*, (80)6:1456-1480.
- Gençoğlu, S., İnan, E. & Güler, H. [1990] *Türkiye'nin Deprem Tehlikesi*, Jeofizik Mühendisleri Odası Yayını, Ankara.
- Güçlü, U., Altınbaş, G. & Eyidoğan, H. [1986], *Türkiye ve Civarının Deprem Katalogu [1971-1975]*, İ.T.Ü. Maden Fakültesi, Yer Bilimleri Araştırma Merkezi Yayını, No. 30.
- İyisan, R. [1996] "Zeminlerde Kayma Dalgası Hızı ile Penetrasyon Deney sonuçlarının Karşılaştırılması", *İMO Teknik Dergi*, (7)2:1187-1199.
- İyisan, R. & Ansal, A.M. [1998] "Yerel Zemin Koşullarının Mikrotremor ile Belirlenmesi", *Yedinci Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği Kongresi*, İstanbul, (2):542-551.
- İyisan, R., Ansal, A., & Kaya, N. [1997] "Sismik ve Mikrotremor Sonuçlarının Karşılaştırılması", *Dördüncü Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı*, ODTÜ, Ankara, 96-103.
- Joyner, W.B. & Fumal, T. [1984] "Use of Measured Shearwave Velocity for Predictive Geological Site Effects on Strong Motion", *Proc. 8th World Conf. on Earthquake Engineering*, (2):777-783

- KRDAE, Kandilli Rasathanesi Deprem Araştırma Enstitüsü, Kocaeli Depremi Sayfası, <http://www.koeri.boun.edu.tr/earthqk/earthquake.htm>.
- Kafka,A.L. & Walcott,J.R. [1998] "How Well Does the Spatial Distribution of Smaller Earthquakes Forecast the Location of Larger Earthquakes in the Northeastern United States", *SRL*, (69)5:428-440
- Katz, L. [1976] "Microtremor Analysis of Local Geological Conditions", *Bulletin of the Seismological Society of America*. (66)1:45-60.
- Kanai,K., Tanaka,T., Morishita,T. & Osada,K. [1966] "Observations of Microtremors. XI" *Bull. Earthq.Res.Inst.*, University of Tokyo, (44):1297-1333.
- McGuire,K.R.[1995] "Probabilistic Seismic Hazard Analysis and Design Earthquakes: Closing the Loop", *BSSA*, (85)5:1275-1284.
- Midorikawa,S. [1987] "Prediction of Isoseismal Map in Kanto Plain due to Hypothetical Earthquake" *Journal of Structural Dynamics*, (33B):43-48
- Nakamura, Y. [1989] "A Method for Dynamic Characteristics Estimation of Subsurface Using Microtremor on the Ground Surface", *QR of RTRI*. (30)1:25-33.
- Nakamura, Y., Saita J. [1994] Characteristics of Ground Motion and Structures Around the Damaged Area of the Northridge Earthquake by Microtremor Measurement, 1st Preliminary Report, Railway Technical Research Institute, Japan.
- Schnabel, P.B., Lysmer, J., Seed, H.B. [1972] *Shake – A Computer program for Earthquake Response Analysis of Horizontally layered Sites*, EERC Report No.7212, University of California, Berkeley, CAL.
- Sipahioğlu,S.[1984] "Kuzey Anadolu Fay Zonu ve Çevresinin Deprem Etkinliğinin İncelenmesi", *Deprem Araştırma Enstitüsü Bülteni*, (11):45
- Shima,E. [1978] "Seismic Microzoning map of Tokyo" *Second Inter. Conf. on Microzonation*, (1):433-443